

## De l'utilité des aménagements routiers dans l'agglomération nantaise

**Bernard FRITSCH**

IGARUN – NANTES

UMR 6590 CNRS – CESTAN, Nantes

Laboratoire d'Analyse Chorématique et Quantitative

BP 81227

44312 – NANTES Cedex 3

**Résumé :** Au cours des deux dernières décennies, d'importants aménagements routiers ont été réalisés dans l'agglomération nantaise (rocade, autoroutes et voies express, franchissements de Loire) et se pose la question, à l'heure de la mise en place d'une nouvelle génération de Plans de Déplacements Urbains, de l'évaluation de l'utilité économique et sociale de ces réalisations. Cet article, en s'appuyant sur la théorie classique du surplus, propose une grille d'analyse des bénéfices que la collectivité a retiré, en 1994, des nouvelles infrastructures routières aménagées depuis 1983. Celle-ci permet d'évaluer les gains de temps, sur les déplacements en automobile, dérivés de ces aménagements et d'en déduire un taux de rentabilité pour la collectivité. Les résultats des calculs effectués sont élevés, reflétant la grande utilité des nouvelles infrastructures routières de l'agglomération. Les gains de temps annuels pour les déplacements en automobile sont de l'ordre de 10 M d'heures, donnant un taux de rentabilité économique et social d'environ 25 %.

**Mots-clés :** Transports urbains. Aménagement. Analyse coûts-avantages. Nantes.

**Abstract :** Major road infrastructure projects have been realized during the last twenty years in the agglomeration of Nantes (orbital motorway, highways, bridges across the river Loire). As a new generation of Urban Transportation Plans is about to be started in major french cities, an important point at issue is the one of the estimation of social and economic utility of road infrastructure. In this paper, the author presents a meso-geographic cost-benefits analysis, for year 1994, of road infrastructure realized since 1983. Based on the classical theory of surplus, this analysis allows to estimate the time saved in car transportation due to these investments, and to produce a rate of return for the community of these new roads. Results of calculations are rather high, showing the great usefulness of these realisations. Annual time savings for car transportation are about 10 M hours, giving a rate of return about 25% .

**Key words :** Urban Transportation. Town-planning. Cost-benefits Analysis. Nantes.

### Introduction

Les réseaux de transports de l'agglomération nantaise ont connu au cours des années quatre-vingt et dans la première moitié des années quatre-vingt-dix de profondes transformations. Parmi celles-ci, les aménagements réalisés pour les transports collectifs, en d'autres termes la mise en service de deux lignes de tramway -Nantes faisant en France figure de ville pionnière- focalisent l'intérêt. Leur réalisation, leur fréquentation, leur bilan socio-économique, ont fait l'objet, de 1994 à 1996, d'une lourde évaluation par les services du District et du ministère de l'Équipement. Le tramway occupe par ailleurs une place importante dans la recherche sur les transports urbains à l'université de Nantes, aux côtés des autres modes dits "doux" (marche à pied, vélo, bus) et de la planification des déplacements urbains. La répartition par thème des mémoires de maîtrise et DEA de géographie, MST et DESS d'aménagement, soutenus de 1990 à 1999 en témoigne (tableau 1).

Thèmes	Nombre	Thèmes	Nombre
Planification des déplacements	5	Stationnement	3
Deux-roues, bus, piétons	5	Réaménagements superficiels de voirie	2
Tramway	4	Aménagement d'infrastructure routière	2
Gare TGV	3		

Source : Bibliothèque de section, IGARUN, Université de Nantes, dépouillement de l'auteur.

**Tableau 1 : Mémoires sur les transports urbains soutenus à l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes de 1990 à 1999**

Principal sujet d'attention, les transports collectifs, et pour l'essentiel le tramway, constituent une priorité en matière d'aménagement aux yeux du District de l'Agglomération Nantaise (DAN) qui, depuis 1992, rassemble 21 communes. Celui-ci occupe le premier rang parmi les investisseurs dans le domaine des transports. Il affecte l'essentiel de ses dépenses aux transports collectifs (tableau 2). Son projet de second Plan de Déplacements Urbains (PDU), rendu public au début de l'année 2000, confirme ces orientations : deux lignes de tramway doivent notamment être prolongées d'ici à 2004 ; le district entend bien conduire une politique de "discrimination positive" en faveur des modes "doux".

En MF94	Voirie	Transports collectifs	Ensemble
État	554,7	504,3	1 059
Région	414,9		414,9
Département	783,3		783,3
District	635,1	2 344,7	2 979,8
Communes	1 481,9		1 481,9
Autres	364,1		364,1
Total	4 234	2 849	7 083

Sources : DAN/AURAN (1998) et calculs de l'auteur

**Tableau 2 : Financement des investissements en transport sur l'aire du district de Nantes, 1983 à 1994**

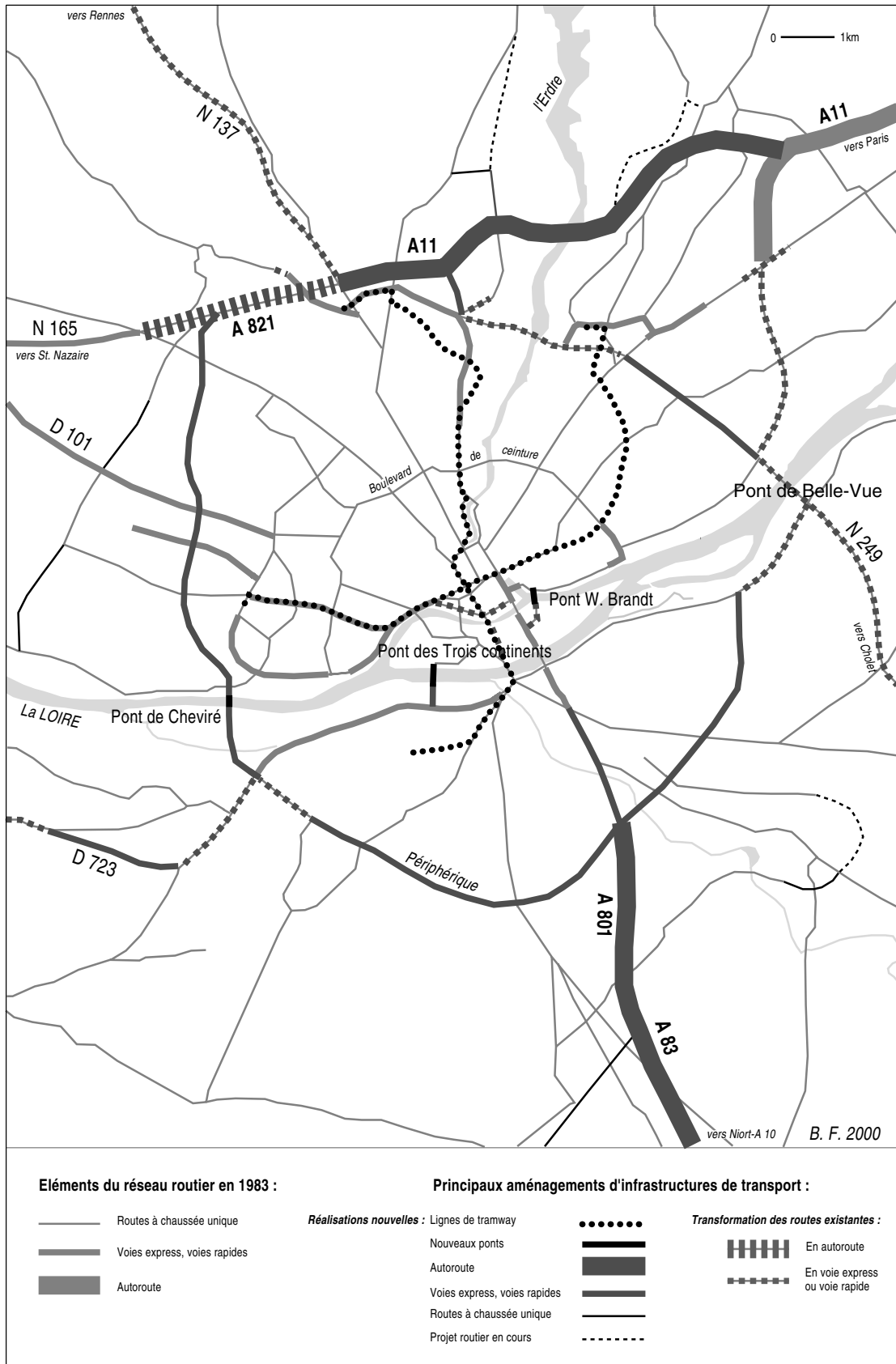
Au cours des 15 dernières années, le réseau des routes et des rues -"le réseau viaire"-, enregistre également d'importantes évolutions : réalisation de l'essentiel de la rocade (le "périphérique"), construction de deux ponts supplémentaires (Trois continents et W. Brandt), retraitement des pénétrantes et boulevards, prolongement de l'autoroute A11 ("contournement Nord"), mise en service du premier tronçon de l'A83 en direction de la Vendée, mise à deux fois deux voies de l'axe Nantes-Cholet (N249). Mais ce réseau qui absorbe 60 % des dépenses d'investissement consacrées aux déplacements dans l'agglomération (tableau 2) et supporte l'essentiel des déplacements mécanisés, en automobile pour la grande majorité (tableau 3), n'est guère étudié, dans la littérature blanche comme dans la littérature grise. Seuls ou presque, ses réaménagements superficiels semblent susciter un maigre intérêt scientifique (Robin, 1999). Par ailleurs, les principaux projets routiers envisagés dans le PDU 2000 suscitent déjà des oppositions, telle celle de l'Association Nantaise de Défense de l'Environnement (ANDE) à de nouveaux franchissements de la Loire.

Année	Deux roues	Automobile	Transports collectifs	Ensemble
1997	5,2	75,3	19,4	100
1990	6,0	76,1	17,9	100

Sources : DAN/AURAN (1998) et calculs de l'auteur

**Table 3 : Répartition modale des déplacements mécanisés des résidents dans l'aire du district de l'agglomération nantaise (en %)**

Ce relatif désintérêt académique, ces oppositions, tiennent en partie à l'image négative qui prévaut à propos des déplacements en automobile. Ceux-ci sont jugés par trop importants, générateurs d'une pollution et d'une congestion croissante, en particulier en centre ville. Le consensus est ici très large. La réduction de ces nuisances par promotion des "modes doux" et limitation de la circulation automobile est un objectif rendu obligatoire par la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) de 1996, que doivent viser les PDU dans les agglomérations de 100 000 habitants et plus. District et ville de Nantes entendent mettre fin à "l'hégémonie" de la voiture. Les services déconcentrés de l'État sont chargés de mettre en œuvre les priorités définies à l'occasion de la préparation des schémas de services collectifs et la nouvelle génération de contrats de plan, et qui vont, pour les déplacements urbains et périurbains, aux transports collectifs. L'ANDE s'élève contre la réalisation de « toute nouvelle voirie susceptible d'accroître la circulation automobile », car « l'équipement crée l'usage ». *L'hebdo de Nantes* consacre une "Une" aux embouteillages et le *vulgum pecus*, quand il s'exprime dans le courrier des lecteurs de *Ouest-France*, se déclare en majorité favorable à une politique globale de limitation de la circulation automobile (Bordères, 2000).



Sources : IGN, Michelin

**Fig. 1 : Principaux aménagements d'infrastructures de transport dans l'agglomération nantaise, 1983 à 1994**

La messe est dite : le trafic automobile est nuisible, trop de gens se déplacent en automobile, l'aménagement de nouvelles infrastructures dégrade plus encore une situation déjà calamiteuse, puisqu'elle entraîne une croissance des déplacements en automobile qui renforce la congestion, mène à la paralysie et à l'asphyxie.

Un second facteur d'explication réside dans la difficulté à rassembler un corpus satisfaisant de données sur les déplacements et les infrastructures de transport dans l'agglomération nantaise. La charge de travail que représente la collecte des informations sur la mobilité et les flux, est telle que seules de grandes structures (bureaux d'études ou services des collectivités par exemple) peuvent l'assumer. L'imbrication des domanialités entraîne une dispersion des sources de renseignement sur les réseaux et leur utilisation (Batard, 1999, Guerrapin, 2000). Le cadre institutionnel des principales études réalisées intervient enfin : maître d'ouvrage, le district en a défini les axes en fonction de ses domaines de compétence et des orientations de sa politique ; il en a confié la maîtrise d'œuvre à son bras séculier, l'Agence d'Études Urbaines de l'Agglomération Nantaise (AURAN).

Certes, deux grandes enquêtes sur les déplacements ont été conduites dans les années quatre-vingt-dix. Des comptages sont régulièrement réalisés sur les principales artères et les lignes de tramway. L'AURAN diffuse généreusement cartes et rapports sur les déplacements (DAN/AURAN, 1998, 1999, 2000). Le bulletin municipal d'information de la ville de Nantes (*Nantes Passion*) et la presse quotidienne consacrent un nombre croissant d'articles à ce thème comme le montre le dépouillement des revues de presse préparées à la médiathèque de la ville de Nantes de 1990 à 1999 (Bordères, 2000). Mais, des données essentielles pour l'analyse des conditions de circulation, de l'efficacité et de la "soutenabilité" du système de transport sont peu connues du public. Vitesses et portées des déplacements sont rarement rapportées dans les publications ; la structuration spatiale des flux et leurs dynamiques ne sont guère étudiées.

Si les études de bilan des aménagements routiers intervenus dans l'agglomération sont donc rares, il est néanmoins possible, pourvu que l'on puisse disposer de quelques indicateurs clefs sur les déplacements et que l'on s'appuie sur un cadre d'analyse formalisé et solide, d'évaluer l'intérêt de ces travaux. Cet article se fixe ainsi pour objectifs, d'apporter quelques éléments de réflexion sur l'utilité des aménagements routiers réalisés dans l'agglomération nantaise, en particulier de 1983 à 1994, et d'en avancer une estimation en empruntant une démarche proposée par Prud'homme (1997) pour la région Île-de-France.

## I - UN INTÉRÊT QUI SEMBLE ALLER DE SOI

L'utilité première des travaux routiers -de l'aménagement des réseaux de transport d'une façon générale- est évidente, même si elle se trouve souvent oubliée dans le discours dominant sur les transports à Nantes. La réalisation de nouvelles voies ou le remodelage du réseau existant permettent en règle générale d'améliorer les conditions de circulation automobile ou d'éviter/limiter leur dégradation lorsque la croissance du trafic entraîne un encombrement croissant. Certes, à Nantes, un certain nombre d'aménagements de voirie effectués dans les années quatre-vingt-dix ont poursuivi un objectif exactement inverse (suppression de files de circulation par exemple). Mais, certaines de ces réalisations ont pourtant contribué à améliorer les conditions de circulation en automobile (les ronds-points conçus comme outils "casse-vitesse" contribuent à fluidifier le trafic aux carrefours). Et au final, les principaux travaux routiers réalisés dans l'agglomération, ont *de facto* cherché à maintenir ou à accroître la vitesse de déplacement, à gagner du temps (et donc notamment à économiser de la fatigue) dans les transports, temps qui peut être employé à d'autres activités. En l'absence de congestion, l'accroissement de la vitesse de déplacement entraîne, pour un trajet donné, une réduction du temps de parcours ; à "budget temps" consacré au transport constant, cela se traduit par une augmentation du nombre et/ou de la portée des déplacements.

D'où un second intérêt des aménagements routiers. L'accroissement de la portée ou du nombre de déplacements potentiels étend alors le champ des destinations envisageables, c'est-à-dire finalement la

quantité et la qualité des biens, services, emplois ..., auxquels les gens peuvent accéder depuis un lieu donné en un temps déterminé. Ainsi, les conditions de circulation influent sur la dimension des marchés du travail, dont on sait qu'elle conditionne considérablement les opportunités de trouver un emploi ; en situation bien éloignée du plein emploi, comme celle qui prévaut aujourd'hui dans nombre d'agglomérations françaises, ce point est loin d'être négligeable. Plus globalement, le système de transport est un déterminant de l'extension et de la configuration des bassins de vie dans lesquels les individus inscrivent leur espace vécu ; il influe alors sur les modalités d'intégration à la vie de la cité, pour reprendre un verbiage sociologique à la mode. En bref, les investissements en transport permettent d'accroître ce que l'on peut appeler le potentiel ou encore l'accessibilité généralisée des lieux.

La lecture de quelques résultats de l'exploitation des "enquêtes ménages" relatives à la mobilité dans la "région nantaise" telle que définie par le district et le conseil général (44 communes) est alors instructive (DAN/AURAN, 1998, 1999). Le "budget temps" de transport des résidents est en moyenne, en 1997, de 1 h 06mn par jour et constant. À cette date, les résidents effectuent en moyenne 3,8 déplacements<sup>(1)</sup> quotidiens en semaine, chiffre qui s'est accru depuis 1990. La durée moyenne de ces déplacements reste stable et leur portée s'est allongée, de 0,4 à 0,7 % par an depuis 1975 pour les migrations domicile-travail par exemple. En bref, on se déplace plus souvent, plus loin et plus vite en 1997 qu'en 1990, et plus encore qu'en 1980. La vitesse des déplacements qui reflète l'efficacité du système de transports urbains (Bonnafois, 1996) s'étant accrue, on peut alors considérer qu'on circule mieux à Nantes dans la seconde moitié des années quatre-vingt-dix qu'au début des années quatre-vingt, en particulier en voiture.

Selon l'AURAN, en 1997, la durée moyenne des déplacements en automobile, internes à la "région nantaise", est de l'ordre de 14 minutes, stable dans le temps, pour une portée évaluée à 4,4 km à vol d'oiseau. Selon le CETE de l'Ouest, en 1999, la portée moyenne des déplacements en véhicules particuliers empruntant le réseau principal et secondaire du district à l'heure de pointe du soir est d'environ 7,7 km (5,1 km pour les déplacements internes au district, 14,4 km pour les déplacements d'échange entre le district et les communes périurbaines voisines, 27,7 km pour le trafic de transit).

Que l'on retienne pour ces dernières un allongement de 0,4 % (estimation basse) ou de 0,7 % par an (estimation haute) depuis 1975, on constate que la vitesse moyenne des déplacements, calculée en rapportant la durée totale du déplacement à la distance parcourue, s'est accrue. Au cours des deux dernières décennies, on passe d'une fourchette de 16,5-17,5 km/h en 1980 à 18,8 km/h en 1997 en retenant des distances à vol d'oiseau, et de 26,7-28,6 km/h en 1980 à près de 31 km/h en 1999 en retenant des distances sur le réseau routier principal et secondaire.

On circule ainsi bien, dans l'ensemble, en automobile à Nantes dans les années quatre-vingt-dix et mieux que par le passé, même si à l'heure de pointe du soir certains "points-chauds" sont fréquemment saturés (pont A. Briand, A821, boulevard Lauriol en particulier) et témoignent de dysfonctionnements croissants sur le réseau viaire.

Ces quelques calculs simples viennent modestement compléter un constat solidement établi dans une thèse de doctorat récemment soutenue (Lee, 1997) et portant sur l'efficacité comparée des systèmes de transports urbains de 22 grandes et moyennes agglomérations provinciales au tournant des années quatre-vingt-dix : Nantes y est classée dans les premiers rangs. Les 4,2 milliards de francs (1994) investis dans la voirie sur l'aire du district au cours de ces années semblent donc bien avoir été très utiles. Ils ont contribué à éviter une dégradation des conditions de circulation dans un contexte de forte croissance du nombre de déplacements en automobile (de 661 000/j en 1980 à 1,233 M/j en 1997 pour les résidents de la région nantaise), et même à améliorer des conditions de déplacement déjà bonnes, globalement.

Certains seront tentés de voir dans l'amélioration des conditions du trafic automobile un effet de la mise en service de deux lignes de transport en commun en site propre, du fait d'un report modal de l'automobile sur le tramway. Ils se tromperont. L'aménagement des lignes de tramway s'accompagne en effet d'une réduction de capacité du réseau viaire, qui, à moins qu'intervienne un report de trafic

proportionnel, génère un encombrement croissant de la chaussée. Or les reports modaux sont faibles, cela est bien connu. Dans le cas de Nantes, même en admettant que les 39 % des usagers du tramway qui déclarent disposer d'un véhicule particulier (DAN/AURAN, 1998) se sont effectivement reportés de l'automobile vers les lignes de tramway (en surestimant en fait ces reports de trafic), cela représente moins de 4 % des déplacements en automobile au sein de l'agglomération par une journée ordinaire. Le rôle du tramway dans l'amélioration des conditions générales de circulation en automobile apparaît bien moins que modeste...

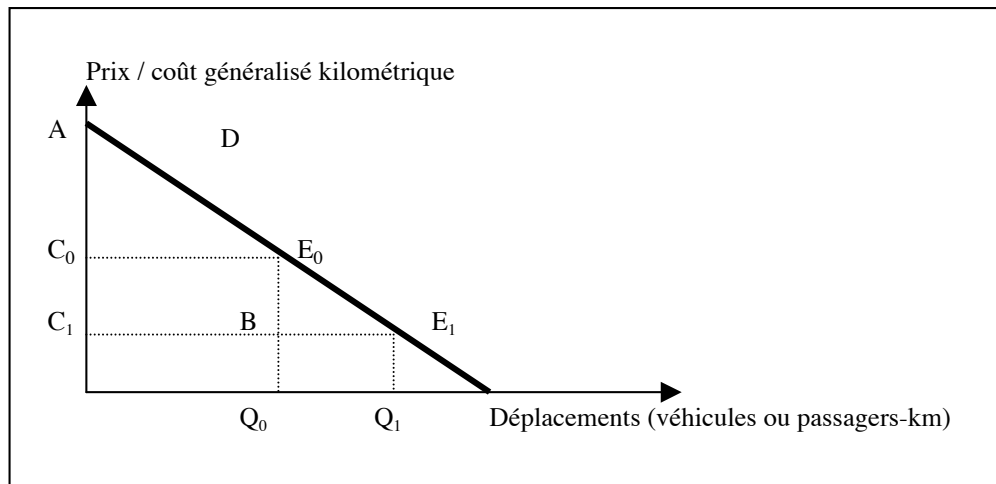
L'évolution des conditions de circulation sur les axes équipés et les voies riveraines le montre par ailleurs clairement. Sur les axes ayant accueilli les lignes de tramway, les débits seraient, selon la municipalité de Nantes, maintenus. Admettons, mais *quid* de la vitesse de circulation ? Les courbes "débit-vitesse" qui font partie du B.A.-BA de l'ingénierie de trafic montrent qu'un même débit peut être assuré dans de bonnes (vitesse élevée), comme dans de mauvaises (vitesse faible) conditions de circulation. En admettant que les débits aient été maintenus, sur une voirie dont la capacité a été drastiquement réduite, il ne fait aucun doute que la vitesse, elle, a diminué et que donc les automobilistes mettent davantage de temps pour effectuer leurs trajets usuels. Par ailleurs, dans un contexte de croissance du trafic automobile, le simple maintien des débits laisse supposer qu'il y a report de trafic sur les voies riveraines de substitution ; et c'est bien le cas, aujourd'hui le long de la ligne 3, route de Vannes.

D'autres feront remarquer, à juste titre, que l'augmentation de la vitesse de déplacement peut s'expliquer par une modification de la structuration spatiale des flux, plus ou moins liée aux aménagements routiers. La part relative des déplacements transversaux, de banlieue à banlieue et de périphérie à périphérie, augmente dans l'ensemble du trafic, du fait d'abord de transformations dans l'organisation de l'agglomération (renforcement de centralités secondaires, extension des espaces résidentiels) et sous l'effet, d'autre part, des plans de circulation, qui reportent partiellement des trafics des axes centraux vers la voirie périphérique. Comme sur ces liaisons transversales la vitesse de circulation est plus élevée que sur les autres, l'augmentation de leur part dans l'ensemble des déplacements contribue naturellement à accroître la vitesse moyenne des trajets.

Ce point n'infirme toutefois pas l'hypothèse d'un effet très positif des investissements routiers sur le trafic automobile. Mais il amène à s'interroger : 1) sur les rôles respectifs des aménagements routiers et transformations structurelles de la géographie des déplacements dans l'amélioration des conditions de circulation ; 2) sur l'importance, en somme, des bénéfices retirés en matière de circulation des seuls investissements routiers ; 3) et sur la rentabilité pour la collectivité de ces derniers, car les avantages que celle-ci en retire le sont au prix de sommes conséquentes, prélevées sur les revenus des contribuables au détriment de satisfactions qu'ils auraient pu en tirer ; et car, consacrées à d'autres dépenses publiques, elles auraient peut-être été plus utiles encore. Pour répondre à ces questions, un détour théorique s'impose, que facilite une présentation graphique (fig. 2).

## II - L'UTILITÉ DES AMÉNAGEMENTS ROUTIERS : CADRE D'ANALYSE

À une date donnée ( $t_0$ ) et dans un contexte déterminé (nombre d'habitants, taux de motorisation, niveau de revenu, structure par âge, distribution spatiale des zones résidentielles et lieux de travail, configuration des plans de circulation...), la population d'une agglomération présente une demande de déplacements en automobile que l'on peut représenter par la courbe D. Cette dernière reflète le "prix", ou les coûts, que cette population accepte de supporter, c'est-à-dire en termes simples sa disposition à "payer", pour pouvoir se déplacer en voiture. Pour certains déplacements, celle-ci est forte (partie gauche de la courbe) : on est disposé à supporter un coût de transport élevé pour pouvoir se rendre au travail ou à l'hôpital ou encore chez sa petite amie. Pour d'autres, elle est faible (partie droite) : pour aller acheter une baguette de pain ou un journal, par exemple.



**Fig. 2 : Variation de trafic et bénéfices liés à un aménagement**

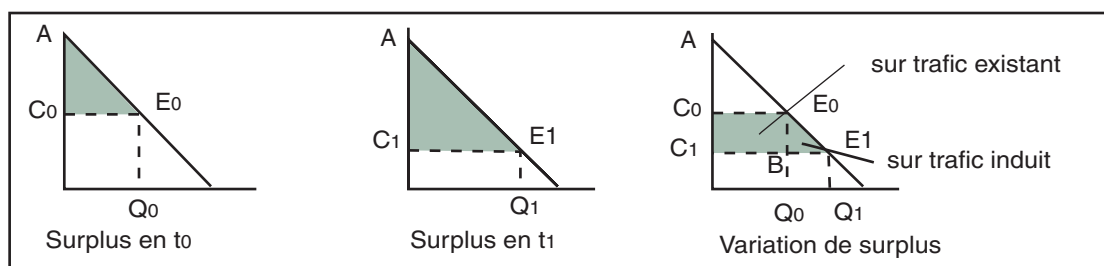
La quantité de déplacements en véhicules particuliers ( $Q_0$ ), autrement dit le trafic, que l'on exprime en général en véhicules-km ou en passagers-km, résulte de la confrontation (en  $E_0$ ) de la demande à l'offre de déplacements, dont le "prix" au kilomètre traduit les modalités ( $C_0$ ). Ne sont effectués que les déplacements pour lesquels les automobilistes sont prêts à dépenser autant ou plus que ce "prix" (partie de la courbe à gauche du point  $E_0$ ). Celui-ci est un coût généralisé, comprenant non seulement les dépenses liées à l'utilisation du véhicule, mais surtout le temps passé dans les trajets. Il est donc en grande partie déterminé par la vitesse de circulation.

La différence entre le coût effectif des déplacements et celui que les automobilistes sont disposés à supporter pour les réaliser, entre le temps passé effectivement et celui qu'ils accepteraient, constitue un surplus (notion introduite par Dupuit, ingénieur des Ponts, qui jette au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle les bases du calcul économique). Ce surplus est une économie de temps, de fatigue et/ou de ressources. De manière imagée, il correspond aux économies, aux bonnes affaires, que l'on réalise en période de soldes. Il est figuré par le triangle  $A-E_0-C_0$ .

Les aménagements de la voirie permettant d'accroître la vitesse de circulation ont pour effet de réduire le coût généralisé du transport. Celui-ci diminue de  $C_0$  à  $C_1$ . La conséquence en est une augmentation du trafic, de  $Q_0$  à  $Q_1$ , puisque ce nouveau "prix" est inférieur à celui que les automobilistes acceptent pour effectuer les déplacements situés entre  $E_0$  et  $E_1$ . Ce surcroît de trafic imputable aux travaux routiers est appelé trafic induit. Il correspond à la satisfaction d'une demande latente, au sens de Merlin (1992).

Les bénéfices des investissements routiers concernent donc les déplacements induits, pour lesquels ils génèrent un surplus correspondant à l'aire  $B-E_0-E_1$  en  $t_1$ . Mais aussi ceux qui s'effectuaient déjà, dont le surplus s'accroît : en  $t_1$  il correspond à l'aire  $A-E_0-B-C_1$ . La variation du surplus global des automobilistes entre  $t_0$  et  $t_1$  fournit alors une estimation des bénéfices, des économies dont bénéficient les usagers, retirés des aménagements. Sur la figure 3, elle est égale à la différence entre  $A-E_1-C_1$  (surplus global en  $t_1$ ) et  $A-E_0-C_0$  (surplus global en  $t_0$ ), soit à l'aire  $C_0-E_0-E_1-C_1$  (Fig. 3).





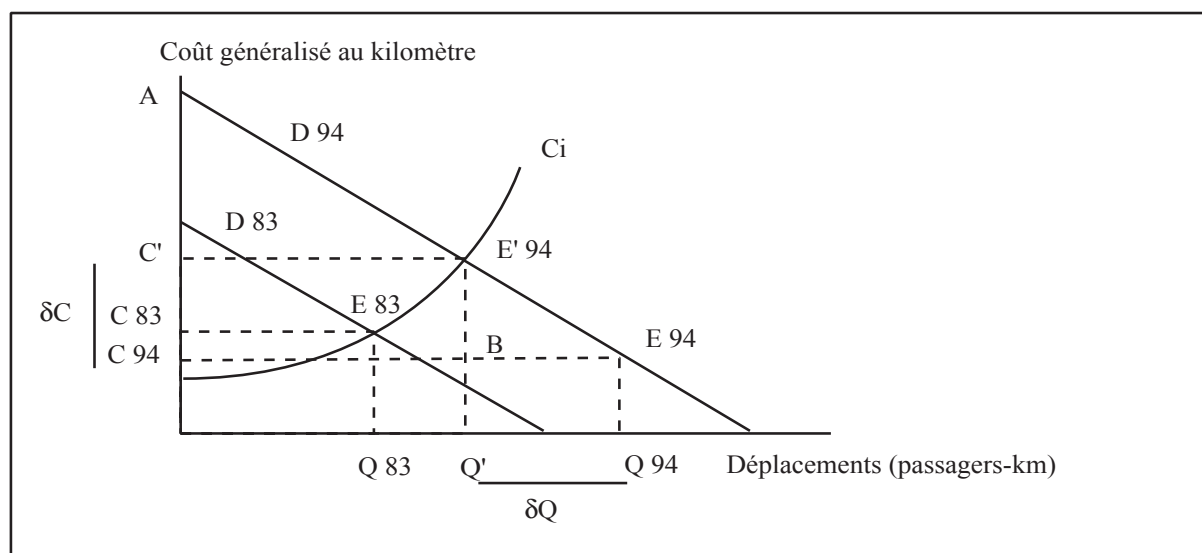
**Fig. 3 : Surplus et variation de surplus**

En rapportant ces bénéfices -qui sont encore une fois pour l'essentiel des gains de temps- au montant des travaux effectués, on obtient un taux de rentabilité collective, dit économique, des aménagements routiers.

### III - APPLICATION AU CAS DES TRAVAUX ROUTIERS ET DES DÉPLACEMENTS EN AUTOMOBILE DANS LA RÉGION NANTAISE, 1983 À 1994

Ce cadre d'analyse peut être transposé à l'étude de l'évolution des déplacements en automobile dans l'agglomération nantaise de 1983 à 1994. La figure 4 présente ainsi, d'une part la situation de départ en 1983, d'autre part celle d'arrivée, en 1994, et enfin celle qui aurait prévalu à cette même date si aucun investissement routier n'avait été réalisé. Par souci de lisibilité, on a accentué les écarts entre les trois situations.

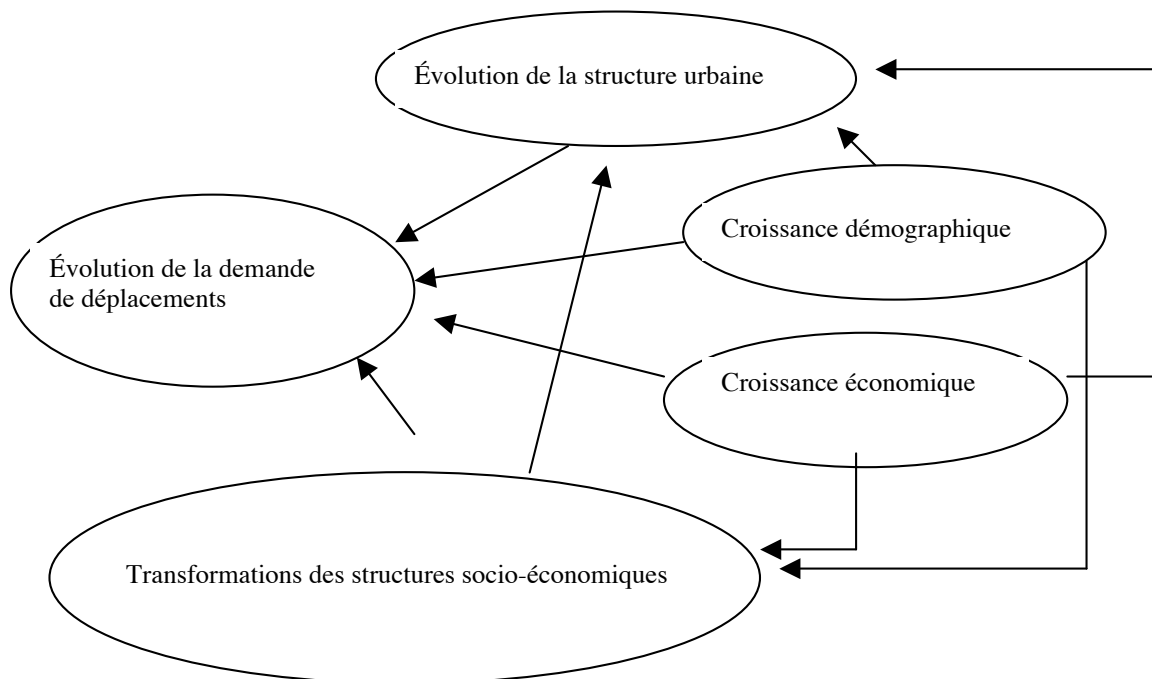
Entre 1983 et 1994, la demande de déplacements en automobile se modifie sous l'effet de la variation de ses principaux déterminants (fig. 5). La courbe de demande se déplace ainsi vers la droite sur le graphique (glissement de  $D_{83}$  à  $D_{94}$ ).



**Fig. 4 : Investissements routiers et évolution des conditions de circulation en automobile dans l'agglomération nantaise, 1983 à 1994**

Au cours des deux dernières décennies, en effet, la population de l'agglomération nantaise s'accroît sensiblement (tableau 4). L'unité urbaine de Nantes, qui correspond à une délimitation morphologique de l'agglomération, enregistre une croissance démographique soutenue, de l'ordre de 19 % sur l'ensemble de la période. L'aire urbaine, qui correspond, elle, à une délimitation fonctionnelle de l'agglomération, connaît une variation relative de sa population du même ordre. La croissance

économique est par ailleurs sensible comme en témoigne, par exemple, l'évolution du nombre de salariés, celle de la masse salariale ou encore des bases de taxe professionnelle. Ainsi, entre 1981 et 1989, les bases de taxe professionnelle augmentent de 25 %, en francs constants, dans l'unité urbaine de Nantes (DGI). Au cours de la première moitié des années quatre-vingt-dix, ces bases progressent en moyenne de 6,1 % par an sur l'aire du district de Nantes (Floch, 1996).



**Fig. 5 : Facteurs de l'évolution de la demande de déplacements**

Population (en milliers)	1999	1990	1982
Nantes	277,7	252	240,7
Unité urbaine de Nantes	553,9	506,3	465,1
Aire urbaine de Nantes	674,1	610,4	566,8

Source : INSEE

**Tableau 4 : Évolution des populations de 1982 à 1999**

Dans le même temps, l'organisation interne de l'agglomération évolue quelque peu, au cours des années quatre-vingt pour l'essentiel (tableau 5), ce qui induit une modification de la structuration spatiale de la demande de déplacements. Sur le plan résidentiel, le poids relatif de la ville centre diminue légèrement dans les années quatre-vingt puis se stabilise au cours des années suivantes. Celui des communes de banlieue situées au nord de la Loire reste stable, le déséquilibre entre les secteurs nord et est d'un côté et ouest de l'autre s'atténuant légèrement. Les communes de banlieue localisées au sud de la Loire renforcent également leur importance relative entre 1982 et 1990, surtout au sud-est. Le poids des trois unités urbaines "satellites" (Saint-Julien-de-Concelles, Sucé-sur-Erdre et Bouaye) reste modeste et celui des communes rurales périurbaines s'amointrit.

	1999	1990	1982
Nantes	<b>41,2</b>	<b>41,3</b>	<b>42,5</b>
Banlieues nord et est	7,5	7,0	6,1
Banlieues ouest	14,5	15,2	15,4
Banlieues nord Loire	<b>22,0</b>	<b>22,2</b>	<b>21,6</b>
Banlieues sud-est	15,2	15,3	13,9
Banlieues sud-ouest	4,5	4,8	4,7
Banlieues sud Loire	<b>19,7</b>	<b>20,1</b>	<b>18,6</b>
Unités urbaines "satellites"	<b>3,1</b>	<b>3,0</b>	<b>2,7</b>
Périurbain monopolarisé	<b>14,0</b>	<b>13,5</b>	<b>14,7</b>
Aire urbaine	100	100	100

Sources : INSEE, calculs de l'auteur

**Tableau 5 : Évolution des poids relatifs des différents sous-espaces de l'aire urbaine de Nantes, 1982 à 1999**

Les transformations de la distribution spatiale des emplois et pôles de commerce et de loisirs sont plus affirmées (Batard, 1999). Certes, le centre-ville de Nantes continue de concentrer un nombre imposant d'activités : en 1995, ce centre (secteur délimité par les boulevards et le bras de Pirmil) rassemble 33 % des établissements de 10 salariés et plus et 36 % des emplois de ce type d'établissement sur moins de 4 % du territoire du district. Mais les zones d'activité périphériques accueillent une part croissante des nouveaux établissements. Dans la première moitié des années quatre-vingt-dix, par exemple, plus des trois-quarts des implantations d'établissements de 10 salariés ou plus, intervenues dans l'aire du district, s'effectuent hors du centre-ville, pour l'essentiel au nord de la Loire : les déséquilibres entre les deux rives se renforcent donc.

Les structures socio-économiques de l'agglomération évoluent également. En particulier, le niveau de revenu et le taux de motorisation progressent. Pour les 19 communes membres de l'ancien Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple de l'Agglomération Nantaise (SIMAN), ce dernier passe de 87 à 115 % entre 1980 et 1997. À cette date il atteint 116 % sur l'aire du district et 121 % pour la région nantaise. Les structures d'activité poursuivent dans le cadre d'un processus de métropolisation (Renard, 2000) une transformation engagée dans les années soixante-dix (Cabanne, 1990).

Parallèlement à cette évolution de la demande, l'augmentation de la vitesse des déplacements se traduit par une petite réduction du coût généralisé au kilomètre du fait de gains de temps, de  $C_{83}$  à  $C_{94}$ . Ce coût comprend deux éléments essentiels : un coût d'utilisation du véhicule, que l'on peut évaluer à 0,91 F/km (circulaire de la Direction des routes, 1998) mais qui n'a aucune importance dans l'analyse, et un coût en temps, qui a diminué. Ce dernier est aisément calculable puisque l'on connaît les vitesses de déplacement. L'ensemble peut être exprimé monétairement en affectant une valeur au temps.

Compte tenu de cette évolution de la demande et de l'abaissement du coût généralisé, le trafic automobile a augmenté. Mais dans quelle proportion ?

Faute de pouvoir disposer de données pour les dates retenues, il faut procéder à des interpolations en se fondant sur les rares chiffres diffusés. Pour le nombre de déplacements (hors transit), cela ne pose guère de difficulté. Connaissant leur nombre en 1997, et leur taux de croissance annuel [5,5 % par an entre 1980 et 1990 et 1,3 % ensuite (DAN/AURAN, 1998)] on peut aisément estimer les valeurs atteintes en 1983 et 1994 (tableau 6). Pour le trafic en revanche, l'exercice est plus délicat : la portée moyenne des déplacements n'est pas connue avec certitude. En se fondant sur des données du CETE de l'Ouest relatives à l'année 1999 (portée moyenne de 7,2 km pour le trafic interne aux limites du district et d'échange avec les communes périurbaines à l'heure de pointe du soir) et en retenant un taux de croissance de cette portée d'un peu moins de 0,6 % par an au cours des deux dernières décennies (estimation qui semble très modérée), on obtient des résultats impressionnants. On serait

passé en effet de 0,58 à 1,08 million de déplacements individuels, et de 4,4 ( $Q_{83}$ ) à 7,7 millions de passagers-km ( $Q_{94}$ ) en 11 ans, soit une croissance de plus de 50 % du nombre de déplacements et de plus d'un tiers du trafic. Ainsi s'explique le sentiment d'inquiétude que certains peuvent ressentir devant l'augmentation de la circulation dans l'agglomération. À titre de comparaison, sur une période voisine (1983-1991) la croissance des déplacements n'est "que" de 26 % en Île-de-France (DREIF, 1995).

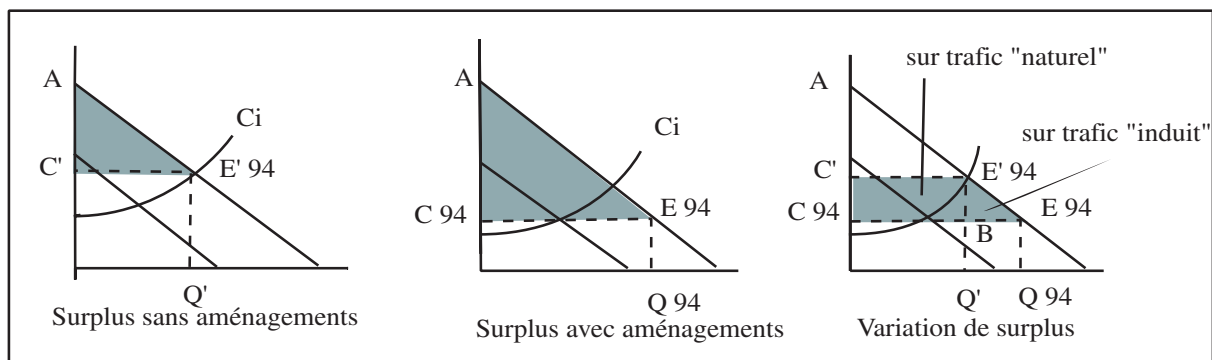
Nombre de déplacements / jour	1980	1983	1990	1994	1997
en millions de passagers	<b>0,579</b>	0,679	<b>1,011</b>	1,037	<b>1,08</b>
en millions de passagers-km	3,73	4,45	6,72	7,25	7,68

Sources : DAN/AURAN (1998, 1999) pour les données figurées en gras, estimations de l'auteur  
 Note : déplacements des résidents de la région nantaise en lien avec l'aire du district de Nantes

**Tableau 6 : Déplacements en automobile dans l'agglomération nantaise, 1980 à 1997**

Si les investissements routiers n'avaient pas été réalisés, la situation aurait été différente. Du fait de l'évolution de la demande, les déplacements en automobile se seraient de toute façon accrus et ils auraient atteint un niveau  $Q'$ , inférieur à celui effectivement observé en 1994 ( $Q_{94}$ ). Cette différence correspond au trafic induit par les aménagements routiers ( $\Delta Q$ ). Le coût généralisé au kilomètre ( $C'$ ) aurait été au moins aussi élevé que celui observé ( $C_{94}$ ), car du fait de la croissance naturelle du trafic, l'encombrement de la chaussée aurait augmenté, ce qui aurait entraîné sinon une diminution, du moins une stagnation de la vitesse de déplacement. La courbe  $C_i$  figure sur le graphique, l'évolution de ce coût généralisé en fonction du trafic sur le réseau tel qu'il était configuré en 1983. On a donc  $C' \geq C_{83} > C_{94}$ .

Quels sont alors les bénéfices retirés, en 1994, des aménagements routiers réalisés dans l'agglomération depuis 1983 ? La réponse est relativement simple. Il s'agit de la variation de surplus des automobilistes imputable à ces aménagements. Si ceux-ci n'avaient pas été effectués (situation en  $E'_{94}$ ), le surplus aurait correspondu à l'aire  $A-E'_{94}-C'$ . Dans les faits (situation en  $E_{94}$ ), il correspond à l'aire  $A-E_{94}-C_{94}$ . La différence est égale à l'aire  $C'-E'_{94}-E_{94}-C_{94}$ , qui comprend deux éléments (fig. 6).



**Fig. 6 : Variation de surplus liée aux aménagements routiers réalisés de 1983 à 1994, année 1994**

D'abord la variation de surplus pour les déplacements qui auraient de toute manière été effectués ( $C'-E'_{94}-B-C_{94}$ ). Elle correspond aux gains de temps sur ces trajets grâce aux aménagements routiers. Elle se calcule comme le produit du gain de temps unitaire par le nombre de ces déplacements ( $\Delta C * Q'$ ), ce qui est équivalent à  $((\Delta C * (Q_{94} - \Delta Q))$ .

Le second élément est la variation de surplus sur les déplacements induits ( $E'_{94}-B-E_{94}$ ), dont l'importance est fonction de l'ampleur de cette induction ( $\Delta Q$ ) et de celle du gain de temps unitaire

imputable aux travaux réalisés ( $\Delta C$ ). On considère en général, compte tenu de l'imprécision des chiffres, que cette aire est assimilable à un triangle rectangle, de surface :  $\Delta Q * \Delta C * 0,5$ .

Pour pouvoir calculer la surface de ces deux aires, il faut connaître  $Q_{94}$ ,  $C_{94}$ ,  $C_{83}$  et  $Q_{83}$ , ce qui permet de calculer les coordonnées du point  $E'_{94}$ , c'est-à-dire  $C'$  et  $Q'$  (ou encore  $\Delta Q$  ou  $\Delta C$ ) en s'appuyant sur les élasticités de la demande au coût généralisé des déplacements ( $e$ ) et du coût de déplacement au trafic ( $a$ ) sur le réseau dans sa configuration de 1983. Ces élasticités sont des rapports de variations relatives. En termes simples, elles indiquent de quel pourcentage varient les déplacements quand le coût généralisé au kilomètre augmente de 1 % ( $e$ ) et de quel pourcentage varie ce coût généralisé quand la quantité de déplacements s'accroît de 1 % ( $a$ ). La seconde peut être calculée pour l'agglomération nantaise. On dispose par ailleurs d'estimations de la première (Goodwin, 1992). Le lecteur pourra trouver en annexe A la présentation détaillée des calculs auxquels on a procédé.

Le ratio de la variation du surplus, monétarisé en donnant une valeur au temps gagné, sur la valeur des aménagements qui sont à son origine, est assimilable à un taux de rentabilité, pour la collectivité, des investissements routiers.

#### **IV - L'IMPACT DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS DANS L'AGGLOMÉRATION NANTAISE DE 1983 À 1994**

En l'absence d'investissement routier, les conditions de circulation automobile seraient sensiblement moins bonnes dans l'agglomération nantaise et se seraient dégradées par rapport à 1983. Alors qu'on peut estimer la vitesse moyenne des déplacements en automobile à environ 30 km/h en 1994, celle-ci n'aurait atteint que 26 km/h si l'on n'avait pas réalisé les aménagements programmés depuis 1983. Il en aurait résulté une augmentation du coût en temps du kilomètre parcouru et donc du coût généralisé de déplacement. L'économie imputable aux travaux routiers peut paraître faible au kilomètre (environ 23 s). Elle apparaît plus substantielle lorsque l'on raisonne en termes de durée de déplacement (2 mn 45 s) et pense qu'elle concerne plus d'un million de trajets par jour.

Le volume de déplacements se serait alors établi aux environs de 6,4 M de passagers-km par jour contre 7,25 effectivement observés. Cela signifie que l'essentiel (70 %) de l'augmentation du trafic observée de 1983 à 1994 relève d'une croissance dite "naturelle", sous l'effet de l'évolution de demande.

Les aménagements routiers ont donc permis aux automobilistes d'économiser en 1994, environ 42 000 heures de transport par jour ordinaire sur leurs déplacements. En considérant que les conditions ordinaires de circulation ont prévalu durant 250 jours, cela représente environ 10 millions d'heures dans l'année.

Le trafic induit par les nouveaux aménagements, traduisant la satisfaction d'une "demande latente", s'il est loin d'être négligeable en valeur absolue (près de 850 000 passagers-km par jour), reste modeste en valeur relative. Pour parler simplement, les nouvelles infrastructures ont accru de 13 % la circulation automobile dans l'agglomération nantaise. Si l'on peut dans une certaine mesure dire que "les infrastructures créent l'usage", les nouveaux aménagements ont surtout permis d'améliorer les conditions d'usage de l'automobile.

Les économies de temps sur le trafic naturel ou induit, exprimées monétairement en retenant une valeur de temps moyenne de 80 F de l'heure, correspondent à un surplus de l'ordre de 3,6 millions de francs par jour ordinaire, soit près de 900 millions de francs sur 250 jours.

En considérant que les aménagements routiers ont une longue durée de vie et donc un faible taux d'amortissement, de 3 % par exemple, on obtient un taux de rentabilité de ces derniers de l'ordre de 25 %.

Cet ordre de grandeur semble tout à fait raisonnable, en particulier pour qui a pu comparer les conditions de circulation nantaises à celles d'autres agglomérations telles Bordeaux ou encore l'agglomération parisienne. Il est comparable aux résultats obtenus, selon la même méthode pour l'agglomération parisienne (Prud'homme, 1997) -23 %- et à ceux des projets de transport financés par la Banque Mondiale dans les années quatre-vingt (Banque Mondiale, 1994) -21 %- . L'estimation est en outre peu sensible aux variations de l'élasticité de la demande au coût du déplacement (e) comme le montre le tableau 7.

(e)	-1	-0,8	-0,6
Taux de rentabilité (%)	24	25	27

Source : calculs de l'auteur

**Tableau 7 : Sensibilité des résultats aux valeurs retenues pour l'élasticité de la demande au coût généralisé**

Elle l'est un peu plus aux variations de l'élasticité du coût kilométrique du déplacement (a) au trafic, mais la fourchette des estimations reste étroite (tableau 8).

(a)	0,1	0,15	0,21	0,25	0,3
Taux de rentabilité (%)	18	21	25	27	29

Source : calculs de l'auteur

**Tableau 8 : Sensibilité des résultats aux valeurs retenues pour l'élasticité du coût généralisé au trafic**

## Conclusion

À l'issue de ce travail, on pourra retenir cinq points principaux.

- L'essentiel de l'augmentation du trafic automobile intervenue dans l'agglomération nantaise entre 1983 et 1994 résulte d'une croissance naturelle, liée aux modifications de la demande, sous l'effet des évolutions socio-démographiques et des dynamiques de localisation. L'effet inducteur des nouvelles infrastructures routières réalisées au cours de la période, s'il est loin d'être négligeable en valeur absolue, reste, en valeur relative, très modeste.
- Si la mise en service de deux lignes de tramway a indéniablement entraîné une augmentation de la fréquentation des transports collectifs et amélioré leur efficacité, leur effet sur la circulation automobile est réduit. Les reports de l'automobile sur le tramway sont au grand maximum de l'ordre de 42 000 déplacements par jour ouvrable en 1994, à comparer au million de déplacements effectués en automobile.
- Les investissements routiers ont permis d'améliorer les conditions générales de circulation routière : la vitesse moyenne des déplacements en automobile s'est accrue au cours de cette période. Elle est élevée pour une grande agglomération, sensiblement supérieure à celle observée dans l'agglomération parisienne par exemple.
- Les gains de temps dont ont bénéficié, grâce à ces investissements, les automobilistes et donc la collectivité, sont importants. Ils représentent en 1994 environ 42 000 heures par jour.
- Les travaux routiers ont finalement été très rentables pour la collectivité. On peut en effet déduire des résultats précédents un taux de rentabilité immédiate pour l'année 1994 des 4,2 milliards de francs investis dans la voirie sur l'aire du district de Nantes depuis 1983. Celui-ci est compris dans une fourchette de 18 à 27 %.

Cette analyse de l'utilité des investissements routiers est bien évidemment schématique et les chiffres avancés sont à considérer comme des ordres de grandeur et non pas comme des estimations précises.

D'abord, parce que les notions de vitesse moyenne, déplacement moyen, coût moyen sont par nature réductrices, tant la mobilité est différenciée. Il faudrait en fait raisonner par type de déplacement, en fonction des périodes, portées, itinéraires et motifs de circulation, ainsi qu'en fonction des types de véhicules utilisés (Prud'homme 1997, Quinet 1998). En bref l'analyse gagnerait à être conduite de manière désagrégée, en exploitant finement les données des "enquêtes-ménages".

Ensuite, parce que certaines données utilisées pour reconstituer les trafics sont relativement fragiles. 36 km/h pour vitesse maximale de déplacement ne constituent pas, loin de là, une certitude. La distance moyenne des déplacements à l'heure de pointe du soir en 1999 (7,2 km) retenue pour reconstituer les trafics est probablement plus longue que la distance moyenne des trajets. On a donc procédé à d'autres estimations en retenant une portée de référence plus courte, présentées en annexe B.

Plusieurs types de circulation empruntant le réseau viaire de l'agglomération n'ont par ailleurs pas été pris en compte : les déplacements effectués en autobus, le transport de marchandises, le trafic de transit de non-résidents, qui ont aussi bénéficié de l'amélioration des conditions de circulation en automobile.

Le taux de rentabilité avancé est en quelque sorte un taux de rentabilité immédiate, calculé en rapportant les bénéfices d'une année, 1994, à l'ensemble des investissements financés au cours des onze années précédentes, comme si ceux-ci n'avaient pas servi auparavant, ou en d'autres termes comme s'ils avaient été réalisés, par magie, à minuit le 31 décembre 1993. Or le taux de rentabilité interne constituerait un meilleur indicateur de l'utilité de ces travaux routiers.

Ces deux dernières remarques amènent à penser que les bénéfices ici calculés sous-estiment, dans une certaine mesure, l'utilité véritable des aménagements routiers et que leur rentabilité pour la collectivité est peut-être bien supérieure à celle estimée dans ce travail.

Néanmoins, deux autres éléments vont plutôt dans le sens d'une relative surestimation du taux de rentabilité collective avancé. En premier lieu, on a rapporté la variation de surplus sur le trafic interne à la région nantaise aux seuls aménagements effectués sur l'aire du district de Nantes. Il aurait fallu tenir compte aussi des investissements effectués dans les communes périurbaines de la région nantaise, même si ceux-ci pèsent d'un très faible poids en regard des aménagements opérés dans le district.

Ensuite, l'utilité des investissements routiers n'a été mesurée qu'à l'aune de leur effet sur le temps passé par les automobilistes dans les déplacements. Or les aménagements routiers ont d'autres impacts, sur la sécurité et l'environnement, qu'il faudrait prendre en considération, comme on essaie de le faire, par exemple, dans les évaluations ex-ante de liaisons interurbaines. Sur le plan environnemental, le trafic induit par les aménagements routiers est, bien sûr, source de pollution supplémentaire. D'un autre côté, parce qu'ils ont réduit l'encombrement, les travaux routiers ont probablement contribué à réduire les émissions de polluants de véhicules qui de toute façon se seraient déplacés. Se pose ainsi la question de l'évaluation des coûts externes environnementaux, comme le disent économistes et ingénieurs, exercice autrement plus difficile que celui auquel on s'est livré. On ne peut que souhaiter pouvoir disposer, sur ce sujet, d'éléments solides.

## Notes

1 - Un déplacement correspond à un aller simple entre deux endroits. Un déplacement peut comprendre plusieurs trajets effectués avec des modes différents. On retient le mode principal pour l'affectation modale, mais l'ensemble des temps passés dans les différents trajets pour le calcul du temps de parcours.

## Bibliographie

- Banque Mondiale, 1994, Une infrastructure pour le développement, *Rapport sur le développement dans le monde*, Banque Mondiale, Washington/Paris, 268 p.
- BATARD D., 1999, *Le périphérique nantais et son impact sur la localisation des activités économiques*, Mémoire de MST Aménagement, IGARUN/Université de Nantes, Nantes, 123 p., annexes.
- BONNAFOUS A., 1996, Le système des transports urbains, *Économie et Statistiques*, n° 294-295, pp. 99-108.
- BORDÈRES S., 2000, *Les politiques de transports urbains à Nantes depuis 1990*, Mémoire de maîtrise de géographie, IGARUN/Université de Nantes, Nantes, 127 p.
- CABANNE C., 1990, Nantes, de la ville industrielle à la ville tertiaire, *Cahiers nantais*, n° 33-34, pp. 185-198.
- COHEN S., 1990, *Ingénierie du trafic routier*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 246 p.
- District de l'Agglomération Nantaise/AURAN, 2000, *Plan de déplacements urbains : projet du Comité de pilotage*, Nantes, polyg., 118 p.
- District de l'Agglomération Nantaise/AURAN, 1998, *Évaluation socio-économique du tramway — Synthèse des études*, Nantes, polyg., 56 p.
- District de l'Agglomération Nantaise/AURAN/Conseil général de Loire-Atlantique, 1999, *Les déplacements dans l'agglomération et la région nantaise : recueil d'études thématiques*, Nantes, polyg., 159 p.
- Direction régionale de l'Équipement de l'Île-de-France, 1995, *Les déplacements des Franciliens en 1991-92 — Enquête globale de transport*, Préfecture de l'Île-de-France, Paris, 70 p.
- FLOCH J., 1996, *L'agglomération nantaise : récits d'acteurs*, coll. L'Aube-Territoires, Ed. de l'Aube, La Tour-d'Aigues, 188 p.
- GOODWIN P. B., 1992, A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. XXVI, n° 2, pp. 155-169.
- GUERRAPIN E., 2000, *Structuration du réseau viaire et déplacements en automobile dans l'agglomération nantaise*, Mémoire de MST Aménagement, IGARUN/Université de Nantes, Nantes, 98 p., annexes.
- LEE C.- W., 1997, *L'impact de l'efficacité des transports urbains sur la productivité des villes*, Thèse de Doctorat en Urbanisme et Aménagement, Institut d'Urbanisme de Paris/Université de Paris XII-Val-de-Marne, Créteil.
- MERLIN P., 1992, *Les transports urbains*, PUF, coll. Que Sais-Je ?, Paris, n° 1 344, 128 p.
- PRUD'HOMME R., 1997, The Rate of Return of Road Investments in the Paris Region : an Ex-post Meso-economic Analysis, Communication at the 53<sup>rd</sup> Congress of IIPF, Kyoto, August, *papier n° 97-08*, CEIL/IUP/UPVM, Créteil, polyg., 9 p.
- QUINET E., 1998, *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris, 419 p.
- RENARD J., 2000, Nantes, métropole inachevée ?, *L'information géographique*, n° 2, pp. 117-133.
- ROBIN F.-X., 1999, *L'aménagement de voirie au service d'une politique de déplacements : l'exemple de la ville de Nantes*, Mémoire de DESS Aménagement, IGARUN/Université de Nantes, Nantes, 140 p.



## Annexe A. Méthode de calcul

La variation de surplus correspond sur la figure 2 à l'aire  $C'-E'_{94}-E_{94}-C_{94}$ . Elle peut être décomposée en deux parties :  $C'-E'_{94}-B-C_{94}$  et  $E'_{94}-E_{94}-B$ .

$$1. \quad \begin{aligned} C'-E'_{94}-B-C_{94} &= (\Delta C)*Q' = (C' - C_{94})*Q' \\ E'_{94}-E_{94}-B &= (\Delta C)*\Delta Q*0,5 = (C' - C_{94})*\Delta Q*0,5 = (C' - C_{94})*(Q_{94} - Q')*0,5. \end{aligned}$$

Les données sur les coûts généralisés kilométriques des déplacements en 1994 et 1983 ( $C_{83}$  et  $C_{94}$ ) sont calculées en additionnant un coût d'utilisation du véhicule de l'ordre de 1,1 F/ véhicule-km (qui n'a aucune influence sur les calculs) et un coût en temps, fonction de la vitesse de déplacement. Celui-ci est exprimé monétairement en se fondant sur une valeur de temps proposée par le ministère de l'Équipement pour l'évaluation des projets routiers et les vitesses de déplacements calculées.

2. L'élasticité des déplacements au coût généralisé ( $e$ ) =  $(\Delta Q/Q_{94}) / (\Delta C/C_{94})$ . Il vient alors :  
 $\Delta Q/\Delta C = (e) * (Q_{94}/C_{94})$ ,  
 ou encore  $(C' - C_{83}) = - (C_{83} - C_{94}) + \Delta Q / ((e) * (Q_{94}/C_{94}))$ , Goodwin (1992) fournissant des estimations de ( $e$ ).

3. L'élasticité du coût généralisé au trafic supporté par le réseau dans sa configuration de 1983 ( $a$ ) est égale à :  $((C' - C_{83})/C_{83}) / (Q' - Q_{83})/Q_{83} = ((C' - C_{83})/C_{83}) / ((Q_{94} - Q_{83} - \Delta Q)/Q_{83})$

Il vient alors :  $(C' - C_{83}) = (a) * (C_{83}/Q_{83}) * (Q_{94} - Q_{83} - \Delta Q)$

La valeur de ( $a$ ) peut être calculée en  $E_{83}$ , comme la dérivée de la courbe du coût de déplacement en fonction du trafic en l'absence d'investissements ( $C_i$ ) en ce point. Cette courbe est, selon les spécialistes d'ingénierie de trafic routier (Cohen, 1990) de la forme :  $C_i = \alpha + \beta / v$ ,

avec  $\alpha$  = coût fixe du déplacement, de l'ordre de 1,1 F/ véhicule-km ou 0,91 F/ passager-km,  
 $\beta$  = valeur horaire du temps,

et  $v$  = vitesse, fonction du trafic :  $v = \eta - \lambda * Q$ , où

$Q$  = quantité de déplacements en véhicules-km,

$\eta$  = vitesse maximale de déplacement, en l'absence d'encombrement de la chaussée, empiriquement estimée, sur la base de trajets aux heures creuses, à environ 36km/h pour Nantes,

$\lambda$  = paramètre à estimer.

Connaissant les valeurs de  $v$ ,  $\eta$  et  $Q$  pour l'année 1983, on en déduit celle de  $\lambda$ . La fonction de coût de déplacement en fonction du trafic en l'absence d'investissement est alors :  $C_i = (1,1 + 80/(36 - \lambda * Q))$   
 Sa dérivée calculée pour  $Q$  ( $Q_{83}$ ), avec un taux d'occupation de 1,2 (AURAN), donne la valeur de ( $a$ ).

5. On dispose donc d'un système de deux équations à seulement deux inconnues ( $C'$  et  $\Delta Q$ ), puisque les valeurs de  $C_{83}$ ,  $C_{94}$ ,  $Q_{94}$ ,  $Q_{83}$ , ( $a$ ) et ( $e$ ) sont, elles, connues.

$$\begin{aligned} (C' - C_{83}) &= - (C_{83} - C_{94}) + \Delta Q / ((e) * (Q_{94}/C_{94})) \\ (C' - C_{83}) &= (a) * (C_{83}/Q_{83}) * (Q_{94} - Q_{83} - \Delta Q) \end{aligned}$$

La résolution donne  $\Delta Q$ , donc  $Q'$ ; on en déduit  $C'$ .

**Annexe B. Estimations sous différentes hypothèses de calcul**

Circulation prise en considération	Déplacements internes à la Région Nantaise, en lien avec le District		
Portée 1994 (km)	6,41	6,70	<b>6,99</b>
Coût 1983 (F/km)	4,02	3,89	<b>3,76</b>
Coût 1994 (F/km)	3,83	3,70	<b>3,59</b>
Trafic 1983 (M passagers-km)	4,08	4,27	<b>4,45</b>
Trafic 1994 (M passagers-km)	6,30	6,59	<b>7,25</b>
Vitesse 1983 (km/h)	25,77	26,94	<b>28,11</b>
Vitesse 1994 (km/h)	27,47	28,72	<b>29,97</b>
Vitesse maximum (km/h)	36	36	<b>36</b>
Valeur de temps (F/h)	80	80	<b>80</b>
lambda	3,01	2,55	<b>2,13</b>
(a)	0,36	0,28	<b>0,22</b>
(e)	0,8	0,8	<b>0,8</b>
$\Delta C$ (F/km)	0,67	0,57	<b>0,53</b>
$\Delta$ delta Q (M passagers-km)	0,88	0,81	<b>0,86</b>
Q' (M passagers-km)	5,42	5,78	<b>6,40</b>
C'(F/km)	4,50	4,27	<b>4,12</b>
Surplus sur "trafic naturel"/j (MF)	3,63	3,30	<b>3,39</b>
Surplus sur trafic induit/j (MF)	0,30	0,23	<b>0,23</b>
Surplus/j (MF)	3,93	3,53	<b>3,62</b>
Surplus annuel (MF)	981,52	881,79	<b>904,30</b>
Montant amorti des aménagements (MF)	3535	3535	<b>3535</b>
Taux de rentabilité (%)	27,77	24,94	<b>25,58</b>
Induction (%)	16,27	14,06	<b>13,41</b>
Temps économisé/km (secondes)	30,14	25,67	<b>23,85</b>
Temps économisé/déplacement (secondes)	193,22	172,05	<b>166,72</b>
Temps économisé/j (M heures)	0,05	0,04	<b>0,04</b>
Temps économisé sur l'année (Mh)	11,35	10,30	<b>10,59</b>
Vitesse sans aménagement (km/h)	24,10	25,26	<b>26,07</b>